

Best Available Copy

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-139672

(43)Date of publication of application : 17.05.2002

(51)Int.Cl.

G02B 17/00

G03F 7/20

H01L 21/027

(21)Application number : 2001-322741

(71)Applicant : CARL ZEISS STIFTUNG TRADING
AS CARL ZEISS

(22)Date of filing : 19.10.2001

(72)Inventor : MANN HANS-JUERGEN
ULRICH WILHELM
SEITZ GUENTHER

(30)Priority

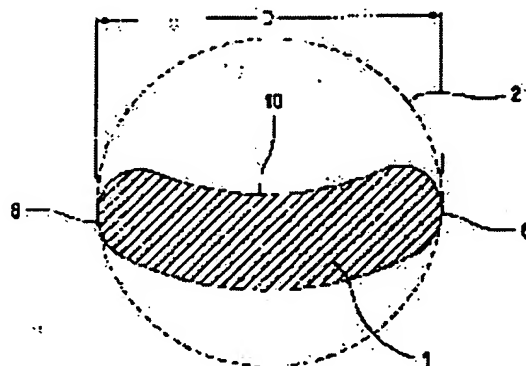
Priority number : 2000 10052289 Priority date : 20.10.2000 Priority country : DE

(54) EIGHT-MIRRORED MICROLITHOGRAPHIC PROJECTION OPTICAL SYSTEM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a projection optical system which is suitable for lithography, using a short wavelength of extremely short ultraviolet-rays whose wavelength is in the range of 10-30 nm, whose numerical aperture is large, compared with an EUV-microlithographic projection optical system conventionally known and which has the advantage of the correction of aberration being improved.

SOLUTION: This microlithographic projection optical system is provided with an entrance pupil and an exit pupil, to perform image formation of an object field at an image field for very short ultraviolet-ray lithography, using a wavelength in the range of 10-30 nm, and is provided with a first reflection mirror, a second reflection mirror, a third reflection mirror, a fourth reflection mirror, a fifth reflection mirror, a sixth



reflection mirror, a seventh reflection mirror and an eighth reflection mirror.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.09.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-139672

(P2002-139672A)

(43) 公開日 平成14年5月17日 (2002.5.17)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード [*] (参考)
G 0 2 B 17/00		G 0 2 B 17/00	A 2 H 0 8 7
G 0 3 F 7/20	5 0 2	G 0 3 F 7/20	5 0 2 2 H 0 9 7
H 0 1 L 21/027		H 0 1 L 21/30	5 3 1 A 5 F 0 4 6

審査請求 未請求 請求項の数26 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2001-322741(P2001-322741)
 (22) 出願日 平成13年10月19日 (2001.10.19)
 (31) 優先権主張番号 1 0 0 5 2 2 8 9 . 0
 (32) 優先日 平成12年10月20日 (2000.10.20)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (D E)

(71) 出願人 300012273
 カール ツァイス シュティフトゥング
 トレイディング アズ カール ツァイス
 ドイツ・(ブレンツ) ハイデンハイム・
 89518
 (72) 発明者 ハンス・ユルゲン・マン
 ドイツ・73447・オーバーコッヒェン・カ
 ッツェンバッハシュトラッセ・49
 (72) 発明者 ヴィルヘルム・ウルリッヒ
 ドイツ・73434・アーレン・デヴァンゲ
 ン・レーダーラッカリンク・44
 (74) 代理人 100089037
 弁理士 渡邊 隆 (外3名)

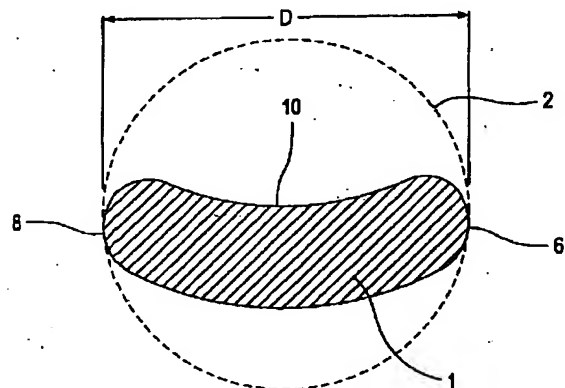
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 8枚の反射鏡を用いたマイクロソグラフィ用の投影光学系

(57) 【要約】

【課題】 10～30nmの領域の極短紫外線の短い波長を用いたリソグラフィに適し、従来より知られてきたEUV-マイクロソグラフィ用投影光学系に比較して、大きな開口数、ならびに、収差を補正する可能性が改善されている点で優れた投影光学系を提供する

【解決手段】 本発明は、10～30nmの領域の波長を用いた極短紫外線リソグラフィのために、オブジェクトフィールドをイメージフィールドに結像させる入射瞳と射出瞳とを備えてなるマイクロソグラフィ用の投影光学系に関するものである。本発明は、第1の反射鏡、第2の反射鏡、第3の反射鏡、第4の反射鏡、第5の反射鏡、第6の反射鏡、第7の反射鏡、及び第8の反射鏡を備えていることを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 10～30nmの領域の波長による極短紫外線リソグラフィのために、物面上のオブジェクトフィールドを像面上のイメージフィールドに結像させるマイクロソグラフィ用の投影光学系であって、第1の反射鏡(S1)、第2の反射鏡(S2)、第3の反射鏡(S3)、第4の反射鏡(S4)、第5の反射鏡(S5)、第6の反射鏡(S6)、第7の反射鏡(S7)、及び第8の反射鏡(S8)と、前記物面から前記像面までの遮蔽の無い光路とを有していることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項2】 請求項1に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、遮蔽の無い射出瞳を有していることを特徴とする投影光学系。

【請求項3】 請求項1または2に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記物面から前記像面までの間に、前記光路中に絞り(B)を有していることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項4】 請求項3に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記絞り(B)は、円形、もしくは略円形に近似し得る形状とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項5】 請求項3から4のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、オブジェクトフィールドと第3の反射鏡との間に、好ましくは、第1の反射鏡(S1)の上もしくはその近くに、あるいは、第2の反射鏡(S2)の上もしくはその近くに、絞り(B)が配置されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項6】 請求項1から5のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記反射鏡(S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8)は、一つの光軸(HA)に関して中心に位置合わせされて配置されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項7】 請求項1から6のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、像側の開口数NAが $NA > 0.2$ とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項8】 請求項7に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、像側の開口数NAが $NA < 0.5$ とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項9】 請求項1から8のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、該投影光学系内の光路において、オブジェクトフィール

ドとイメージフィールドとの間に少なくとも一つの前記オブジェクトフィールドの中間像が結像されるように構成されていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項10】 請求項1から9のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記イメージフィールドは、リングフィールドのセグメントをなし、該セグメントは、対称軸と、この対称軸に垂直な方向への広がりとを有していて、その広がりとは少なくとも20mm、望ましくは25mmとされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項11】 請求項1から10のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記オブジェクトフィールドの中心、かつ対称軸上に位置する視野絞りの主光線の入射角の正弦は、前記オブジェクトフィールドにおいて、物体側の開口数NAOの2倍の値より小さい値とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項12】 請求項1から11のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記対称軸上かつ前記オブジェクトフィールドの中心に位置する前記視野絞りの前記主光線の入射角は、全ての前記反射鏡上で 45° 未満とされ、好ましくは 26° 未満、とりわけ 20° 未満とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項13】 請求項1から12のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、8枚の前記反射鏡(S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8)は、それぞれ、物体から像まで該光学系を走破する光線が当たる使用領域を有し、それぞれの前記反射鏡において、該使用領域の間隔は、前記光軸に対して、最大でも長さ寸法の30%、好ましくは25%とされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項14】 請求項1から13のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、該光学系は、像側でテレセントリックとされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項15】 請求項1から14のいずれか1項に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、少なくとも一つの反射鏡の曲率半径の大きさは、該投影光学系の前記長さ寸法よりも大きいものとされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項16】 請求項13に記載のマイクロソグラフィ用の投影光学系において、前記第2の反射鏡(S2)及び／又は前記第3の反射鏡(S3)及び／又は前記第4の反射鏡(S4)の曲率半径の大きさは、該投影光学系の前記長さ寸法よりも大きいものとされていることを特徴とするマイクロソグラフィ用の投影光学系。

【請求項17】 請求項1から16のいずれか1項に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、該光学系の二つの前記反射鏡の間に形成される少なくとも1つの走行区間は、該投影光学系の前記長さ寸法の70%より長いものとされていることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項18】 請求項1から16のいずれか1項に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、光学的な光路内で互いに前後に並んだ二つの前記光学系の反射鏡の間の前記走行区間、及び、前記物面から前記第1の反射鏡(S1)の頂点までの区間、及び、光学的な光路内の最後の前記反射鏡(S8)から前記イメージフィールドまでの区間の総和は、少なくとも該投影光学系の前記長さ寸法の2.5倍の大きさになることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項19】 請求項1から18のいずれか1項に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、該マイクロソングラフィ用の投影光学系が三つの副光学系を有し、第1の前記副光学系は、前記オブジェクトフィールドを、第1のオブジェクトフィールドの中間像に結像させ、第2の前記副光学系は、前記第1のオブジェクトフィールドの中間像を、第2のオブジェクトフィールドの中間像に結像させ、かつ、第3の前記副光学系は、前記第2のオブジェクトフィールドの中間像を、イメージフィールドに結像させるように構成されていることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項20】 請求項19に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、それぞれの前記副光学系は、少なくとも二つの反射鏡を有していることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項21】 請求項19または20に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、前記第1の副光学系は、前記第1及び第2の反射鏡(S1, S2)を有し、前記第2の副光学系は、前記第3、第4、第5、及び第6の反射鏡(S3, S4, S5, S6)を有し、前記第3の副光学系は、前記第7及び第8の反射鏡(S7, S8)を有していることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項22】 請求項1から21のいずれか1項に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、8枚の前記反射鏡(S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8)のうち少なくとも一つが球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項23】 請求項22に記載のマイクロソングラ

フィ用の投影光学系において、

8枚の前記反射鏡のうち7枚が非球面状に形成されるとともに、1枚が球面状に形成され、球面状に形成された前記反射鏡の前記使用領域は、前記光軸に対して最も大きい隔たりを有していることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項24】 請求項22に記載のマイクロソングラフィ用の投影光学系において、前記第6の反射鏡(S6)は、球面状に形成されていることを特徴とするマイクロソングラフィ用の投影光学系。

【請求項25】 投影露光装置において、極短紫外線を生成する光源と、前記光源から生成された光線の一部集光するとともにリングフィールドの照明のためにさらに導く照明装置と、リングフィールドの面に位置させるように支持系に設けられた構造を有したマスクと、前記構造を有したマスクの照明された部分をイメージフィールドに結像させる請求項1から21のいずれか1項に記載の投影光学系と、前記投影光学系のイメージフィールドの面に位置させるように支持系に設けられた感光性を有する基層と、を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項26】 請求項25に記載の投影露光装置を用いてチップを製造するチップの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、請求項1において書きの部分に係るマイクロソングラフィ用の投影光学系、請求項18に係る投影露光装置、ならびに請求項19に係るチップの製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】 193nmより短い波長を用いたソングラフィ、とりわけ、使用する波長 λ が、 $\lambda=11\text{nm}$ 、ないしは $\lambda=13\text{nm}$ とされた極短紫外線(EUV)ソングラフィ(以後、EUV-ソングラフィ、もしくはEUV-マイクロソングラフィ、あるいは単にマイクロソングラフィと称する)が、130nm未満、とくに100nm未満の構造を結像するための有望な手法として論じられるようになってきている。ソングラフィ用の光学系の解像度(RES)は、下記の式で記述される；

【数1】

$$RES = K_1 \cdot \frac{\lambda}{NA}$$

ここで、 k_1 はソングラフィ工程における固有の係数であり、 λ は入射する光の波長、NAは光学系の像側の開口数を表すものである。

【0003】 極短紫外線領域における結像光学系には、光学素子として、主に、多層膜を用いた反射型光学系が用いられる。多層膜系としては、波長 $\lambda=11\text{nm}$ では

特にMo/Be系が、波長 $\lambda=13\text{ nm}$ ではMo/Si系が好適に用いられている。

【0004】使用される多層膜の反射率は、現在最大でおよそ70%程度の値であり、このため、EUV-マイクロソングラフィに用いられる投影光学系には、光学素子をできるだけ少なくして十分な光の強度を得ることが要求される。

【0005】できるだけ高い解像度を得るためには、一方で、光学系ができるだけ大きな像側の開口数を有していることが必要である。

【0006】リソグラフィ用の光学系に関して、好ましいのは、投影光学系の内部での光路が、遮蔽の無い、すなわち食が起こらない状態とされている場合である。とりわけ、投影光学系は、透過領域によって遮蔽が引き起こされるため、透過領域を有するような反射鏡、特に開口部を備えるわけにはいかない。光学系が反射領域を有するような反射鏡を何ら持たない場合、これによって光学系は、遮蔽の無い光路を有し、光学系の射出瞳が遮蔽を生じないものとなる。さらに、斯かる遮蔽の無い系の開口絞りには、遮蔽装置は配置される必要がない。いわゆるシュワルツシルト反射鏡系といった遮蔽された射出瞳を有する系の欠点は、所定の大きさの構造が、制限された状態でしか像を結ぶことができないという点である。射出瞳は、開口絞りと像面との間の光路中に配置された光学素子によって結像される開口絞りの像として定義されている。

【0007】例えば、米国特許第5 315 629号明細書、あるいは、欧州特許第0 480 617号公報より、4枚の反射鏡を用いたマイクロソングラフィ用の光学系が公知となっている。これらの先行文献に挙げられるような光学系では、しかしながら、フィールドの大きさが十分になる少なくとも1mmの走査スリット幅の場合、像側の開口数が $NA=0.1$ の値にしかなり得ない。解像度の限界は、波長 $10\sim30\text{ nm}$ を有したレントゲン線を用いる場合には、 70 nm 付近である。

【0008】6枚の反射鏡を用いたマイクロソングラフィ用の光学系は、以下の刊行物、米国特許第5 153 898号明細書、欧州特許第0 252 734号公開公報、欧州特許第0 947 882号公開公報、米国特許第5 686 728号明細書、欧州特許第0 779 528号公開公報、米国特許第5 815 310号明細書、国際公開第 99/57606 号パンフレット、及び米国特許第6 033 079号明細書より公知となっている。

【0009】これらの文献で述べられるような6枚の反射鏡を用いた光学系といった光学系は、像側の開口数が0.3より小さい値を有している。これにより、波長 $10\sim30\text{ nm}$ を有したレントゲン線を用いる場合には、 30 nm 付近の解像度が得られる。

【0010】4枚の反射鏡を用いた光学系でも、6枚の反射鏡を用いた光学系でも、これらの光学系のさらなる

欠点は、これらの光学系が収差を補正するための手段をほとんど持たないという点である。

【0011】米国特許第5 686 728号明細書により、8枚の反射鏡を用いたマイクロソングラフィ用の投影光学系が公知となっている。この投影光学系は、像側の開口数として $NA=0.55$ という高い値を有している。もともと、この米国特許第5 686 728号明細書に開示された投影光学系は、 126 nm より大きな波長にのみ適している。というのも、例えば、オブジェクトフィールドの中心で対称軸上に位置する視野絞りの主光線の入射角があまりに大きく、このため、 $10\sim30\text{ nm}$ の極短紫外線の波長領域で、8枚の反射鏡を用いた光学系を用いることができないからである。米国特許第5 686 728号明細書による光学系のさらなる欠点は、全ての8枚の反射鏡が非球面状に形成され、物体側の開口数が0.11の場合、物体での主光線の角度が 13° の値を有するという点である。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】本発明の第一の課題は、 $10\sim30\text{ nm}$ の領域の極短紫外線の短い波長を用いたリソグラフィに適し、従来より知られてきたEUV-マイクロソングラフィ用投影光学系に比較して、大きな開口数、ならびに、収差を補正する可能性が改善されている点において優れている投影光学系を提供することにある。

【0013】本発明のさらなる課題は、 193 nm 以下の波長を用いたリソグラフィに用いられ、大きな開口数を有するとともに、容易に製造することのできるマイクロソングラフィ用投影光学系を提供することにある。

【0014】

【課題を解決するための手段】第一の課題は、本発明により、 $10\sim30\text{ nm}$ の領域の波長による極短紫外線リソグラフィのためのマイクロソングラフィ用投影光学系を用い、このマイクロソングラフィ用の投影光学系が4枚もしくは6枚の反射鏡の代わりに8枚の反射鏡を有していることによって解決される。

【0015】本発明者らは、驚くべきことに、このような光学系が、十分な強度の光を提供するとともに、高い解像度に対する要求に適合するよう、十分な大きさの開口数を有し、また、収差を補正する十分な手段を有するものであるという知見を得て本発明に至った。

【0016】できるだけ大きな解像度を達成するために、好ましい実施態様においては、投影光学系の像側の開口数は、0.2より大きいものとされている。

【0017】オブジェクトフィールドの中心で、かつ対称軸上に位置する視野絞りの主光線の入射角が低い値を保つよう、本発明による投影光学系の像側の開口数は有限とされ、具体的には $NA<0.5$ とされていることが好ましい。

【0018】光束を光軸(HA)の方向に向けるため、

また、可能な限り軸から離れた使用領域に出現することを防ぐため、とりわけ好ましい実施態様においては、投影光学系は、該投影光学系内の光路において、オブジェクトフィールドとイメージフィールドとの間に少なくとも一つのオブジェクトフィールドの中間像が結像されるように構成されている。

【0019】反射鏡の使用領域とは、本明細書中、該投影光学系を通して導かれる光線が当たる反射鏡の部分のことをいう。使用領域の隔たりとは、本明細書中、視野絞りの中心の主光線が当たる位置の光軸から測った隔たりのことをいう。

$$\overline{BS_2} \leq 1/10 \overline{S1S2}$$

ここで、 $\overline{BS_2}$ は第2の反射鏡までの絞りの隔たり、そして、 $\overline{S1S2}$ は第1の反射鏡と第2の反射鏡との間の隔たりを意味する。

が成り立つことを意味している。このような配置により、光学系の上流側の部分において、光束の分離を最小限にすることができ、第1、第2、及び第3の反射鏡への入射角が低減される。さらに、絞りがこのように配置されることによって、第3の反射鏡の使用領域が、光軸の真下、かつ、第1の反射鏡S1の使用領域に対して略鏡像の位置に来ることになる。この特性により、第4及び第5の反射鏡への入射角も低減される。というのも、光軸からの光束の隔たりは、第4及び第5の反射鏡の間で最小となるからである。

【0021】上記反射鏡への小さい入射角を実現するためにさらに好ましいのは、反射鏡の使用領域の隔たりが小さく保たれている場合である。この隔たりは、適当なスケールで如何様にも変えることができるので、本明細書中、隔たりは、光学系の長さ寸法に対する大きさの比によって特徴付けられる。とりわけ好ましいのは、以下の関係、使用領域の隔たりの大きさ $< 0.3 \times$ 長さ寸法とくに、使用領域の隔たりの大きさ $< 0.25 \times$ 長さ寸法を満たしている場合である。というのも、これにより、とくに小さな角度が実現されるからである。

【0022】本発明のさらに発展した実施態様において、少なくとも一つの反射鏡の曲率半径は、該投影光学系の長さ寸法よりも大きいものとされる。光学系の長さ寸法とは、本明細書中、結像させるべき物体から、その像までの隔たりのことである。とりわけ好ましいのは、この曲率半径に対する条件が、第2、第3、及び第4の反射鏡の曲率半径に対して当てはまる場合で、これによれば、第1から第2の反射鏡、及び第3から第4の反射鏡の光束の光路が、略平行になる。反射鏡がこのように形成されることによって、光束の分離が最小限となり、長い走行区間が実現される。走行区間とは、本明細書中、光学的な光路内で互いに前後に並んだ二つの反射鏡の間の頂点の隔たりのことである。上記のような構成が、反射鏡上への入射角を小さくする一翼を担ってい

【0020】本発明に係る投影光学系の第一の反射鏡上への入射角を低く抑えるために、とりわけ好ましい実施態様においては、光路中において第1の反射鏡と第3の反射鏡との間に、好ましくは第1の反射鏡の上もしくはその近くに、あるいは第2の反射鏡の上もしくはその近くに、絞りが配置されている。「近く」とは、本明細書中、その都度次に位置する反射鏡から測った絞りの隔たりのことを意味し、この隔たりが直前の反射鏡から、その都度絞りに近い反射鏡までの隔たりの $1/10$ より小さいものをいう。例えば、「S2近く」とは、

【数2】

る。

【0023】本発明のさらに発展した実施態様において、上記マイクロソングラフィー投影光学系は、物体での主光線の角度が、物体側の開口数NAOの2倍の値より小さくなるように構成される。斯かる構成は、マスク上での遮光効果がこれにより低減されることから好ましいものである。

【0024】特に好ましいのは、上記投影光学系が二つの中間像を有する場合である。二つの中間像を有した光学系における一番目の中間像は、第2の反射鏡及び第3の反射鏡の間に結像されることが好ましい。これにより、第1、第2、第3、及び第4の反射鏡が軸に近い使用領域を有する結果をもたらす。第5、第6、第7、及び第8の反射鏡を有した後続の光学系の部分においても、できるだけ多くの反射鏡に対して、軸に近い使用領域を確保するためには、上記投影光学系は、光路内において二番目の中間像が第6及び第7の反射鏡の間に結像されるように構成されていることが好ましい。特に好ましいのは、二つの中間像を有した光学系において、オブジェクトフィールドの中心、かつ対称軸上に位置する視野絞りの主光線の入射角が 20° より小さくされる場合である。

【0025】二つの中間像を有した本発明の一態様においては、8枚の反射鏡の表面の少なくとも一つは球面状に形成されている。

【0026】とくに好ましいのは、光学系の一つ又は複数の反射鏡が球面状に形成され、該反射鏡の使用領域が投影光学系の光軸から最も遠くに隔てられている場合である。というのも、使用領域が光軸の外側の遠い位置にある場合、干渉計を用いて軸から離れた非球面度を検査することは、使用領域が光軸から遠い位置にあればあるほど困難になるからである。

【0027】第2及び第3の反射鏡の間、そして、第6及び第7の反射鏡の間に二つの中間像を有する光学系の

場合、第6の反射鏡が、軸から最も離れた位置に使用領域を有した反射鏡となる。斯かる実施態様において、第6の反射鏡は、好適に、干渉による検査が容易であるため球面状に形成される。

【0028】投影光学系の他にも、本発明は、投影露光装置を提供する。この投影露光装置は、リングフィールドを照明するための照明装置と、本発明に係る投影光学系を有している。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に基づき詳述する。

【0030】図1に、この明細書の中で使用領域、及び使用領域の直径と称するものを示す。

【0031】図1には、一例として、投影光学系の反射鏡上に照明されたフィールド1として、腎臓の形をしたフィールドが示されている。本発明に係る光学系（投影光学系）をマイクロリソグラフィ用の投影露光装置に用いる場合、使用領域としてこのような形状が予想される。包絡円2は、この腎臓の形を完全に囲み、2点6、8において、腎臓の形をした境界線10と重なり合っている。包絡円は、常に使用領域を取り囲む最小の円である。この包絡円2の直径が使用領域の直径Dとなる。

【0032】図2に、投影光学系の物面上における、投影露光装置のオブジェクトフィールド11が示されている。斯かるオブジェクトフィールドが、本発明による投影光学系によって、例えばウェハ等の感光性のある物体が設置された像面に結像される。イメージフィールドの形状は、オブジェクトフィールドの形状に対応している。マイクロリソグラフィーによく用いられるような縮小光学系の場合、イメージフィールドは、予め設定された因子だけオブジェクトフィールドに対して縮小される。オブジェクトフィールド11は、リングフィールドの一部のセグメントの外見を有している。このセグメントは、一つの対称軸12を有している。

【0033】図2にはさらに、物面または像面に張られた軸としてx軸及びy軸が記されている。図2から分るように、リングフィールド11の対称軸12は、y軸方向に延びている。また、y軸は、リングフィールド・スキャナーとして設けられたEUV-投影露光装置のリングフィールドの走査方向にも一致させられている。x軸の方向は、物面内で走査方向に直交する方向に向いている。

【0034】光学系の光軸HAは、z軸の方向に延びている。

【0035】図3に、投影光学系の第一の実施形態を示す。この投影光学系は、 $\lambda = 10 \sim 30 \text{ nm}$ の波長を有した極短紫外線（EUV）領域で使用することができ、全ての反射鏡への入射角が小さいという点で優れている。

【0036】投影光学系によって、例えばウェハ等を置くことのできる像面102に、物面100内の物体が結像される。本発明に係る投影光学系は、第1の反射鏡S1、第2の反射鏡S2、第3の反射鏡S3、第4の反射鏡S4、第5の反射鏡S5、第6の反射鏡S6、第7の反射鏡S7、及び第8の反射鏡S8を備えている。図3に示される実施形態においては、全ての反射鏡S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8は、非球面鏡として形成されている。この光学系は、中間像Z1を第5の反射鏡S5及び第6の反射鏡S6の間に有している。

【0037】この光学系は、光軸HAに対して中心合わせられ、像側、つまり、像面102にテレセントリックとされている。像側にテレセントリックとは、主光線CRが、像面102に、略90°ないしは90°近くの角度を有して当たることをいう。

【0038】光量の損失、及び、反射鏡の構造の内部で多層膜によって誘起される波面収差をできるだけ低く抑えるため、中心の視野絞りの主光線CRがそれぞれの反射鏡表面へ入射する角度は、図3による実施形態においては、2.6°より小さくされている。中心の視野絞りの主光線の入射角は、以下の表1に与えられている。

【0039】

【表1】

図3の実施形態における中心視野絞りの主光線の入射角

反射鏡	入射角
1	10.5°
2	15.0°
3	14.9°
4	11.0°
5	10.6°
6	25.6°
7	15.7°
8	4.7°

【0040】図3に示される8枚の反射鏡を用いた光学系は、1mmの走査スリット幅で、しかも、像側の開口数NA=0.4の値を有している。個々の反射鏡での入射角を最小限にするために、以下の手が打たれた。物体100での主光線の角度を最小限にする。ここで、物体側の開口数をNAO=0.1の大きさにする。こうすると第1の反射鏡の入射角が最小となる。設定された物体側の開口数NAO=0.1では、物体での主光線の最大角は6.1°にすぎず、それゆえ、米国特許第5686728号明細書に開示された光学系における物体での最大の主光線の角度13°に比べてはるかに小さいものになる。

【0041】物理的な絞りは、第2の反射鏡S2上に配置されている。これにより、光学系の上流側の部分における光束の分離を最小限にすることができ、第1、第

2、及び第3の反射鏡への入射角が低減される。さらに、例えば米国特許第5 686 728号明細書に記載された126 nmより長い波長用の8枚の反射鏡を用いた光学系と異なり、斯かる構成によって、第3の反射鏡の使用領域が、光軸の真下、かつ、反射鏡S1の使用領域に対して略鏡像の位置に位置する効果が得られる。斯かる手段を講じることによって、反射鏡S4、及びS5への入射角もまた低減される。光軸からの光束の隔たりは、第4及び第5の反射鏡の間で最小となるからである。個々の反射鏡の部分の使用領域は、図4 a～図4 hに示されている。ここで、図4 aには、図3に示された8枚の反射鏡を用いた光学系の実施形態における反射鏡S1上の使用領域が、図4 bには、反射鏡S2上の使用領域が、図4 cには、反射鏡S3上の使用領域が、図4 dには、反射鏡S4上の使用領域が、図4 eには、反射鏡S5上の使用領域が、図4 fには、反射鏡S6上の使用領域が、図4 gには、反射鏡S7上の使用領域が、そして、図4 hには、反射鏡S8上の使用領域が示されている。

【0042】さらに、反射鏡S2～S4うちの少なくとも一つの曲率半径は、好ましくは、投影光学系の長さ寸法よりも大きいものが選ばれ、これにより、長い走行区間が形成されて、反射鏡S1からS2に向かう、そして反射鏡S3からS4に向かう光束の光路が略平行になる。同じことがS2からS3に向かう、そしてS4からS5に向かう光束の光路についても当てはまる。また、このことから、光束の分離が最小限となる。

【0043】波面は、0.030λより小さい最大の二乗平均値を有している。歪曲は、走査スリット上で最大1 nmの値にまで修正され、3次多項式の形状を有している。そして、これにより、走査工程を経て平均される動的な歪曲が最小限とされている。像面湾曲は、ペッツヴァル条件を考慮しながら修正されている。

【0044】図3に示される光学系の詳しいデータは、光学設計ソフトCode-Vの形式で表2及び表3に再現されている。

【表2】

素子番号	半径	厚さ	直径	ART
オブジェクト	INF	437.8550		
S1	A(1)	-248.1062	218.4102	REFL
		開口絞り	91.5283	
		0.0000		
S2	A(2)	193.6511	91.5770	REFL
S3	A(3)	-230.6805	193.7182	REFL
S4	A(4)	619.7098	320.2546	REFL
S5	A(5)	-169.8751	398.3988	REFL
S6	A(6)	202.7900	280.0000	REFL
S7	A(7)	-293.6734	85.8365	REFL
S8	A(8)	326.9836	308.4810	REFL
イメージ	INF		55.0127	

【表3】

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1 + (1 - (1 + K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10} + (E)Y^{12} + (F)Y^{14} + (G)Y^{16} + (H)Y^{18} + (J)Y^{20}$$

非球面	CURV	K E	A F	B G	C H	D J
A(1)	-0.00123747	0.000000	2.31212E-09	-1.20823E-14	5.14612E-19	-3.39768E-23
		2.27258E-27	-4.42780E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(2)	0.00016948	0.000000	-1.89814E-08	-2.29358E-13	-4.85183E-19	1.15028E-20
		-4.21257E-24	5.69674E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(3)	-0.00011398	0.000000	6.83150E-09	-7.67300E-14	-1.83359E-18	5.15096E-23
		-6.74819E-28	2.38485E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(4)	0.00052128	0.000000	1.30246E-09	2.58343E-15	-1.56164E-19	2.66615E-24
		-3.14527E-29	2.08197E-34	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(5)	-0.00182108	0.000000	1.19681E-09	-5.86576E-16	1.80550E-19	-1.61183E-24
		6.43317E-30	9.29849E-36	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(6)	-0.00107055	0.000000	2.53003E-08	-1.45839E-12	7.48859E-17	-1.88858E-21
		1.34840E-28	6.67275E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(7)	0.00584900	0.000000	5.51082E-08	9.28811E-13	-4.97336E-16	-6.35635E-20
		-9.50902E-24	-1.70958E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
A(8)	0.00289780	0.000000	4.07773E-10	3.17817E-15	2.23903E-20	1.62047E-25
		1.06923E-30	3.39378E-35	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

ワルナス波長 = 13.0 NM

イメージスケール = 0.25

像側の開口 = 0.40

【0045】図5に、反射鏡S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7及びS8を備えた本発明に係る8枚の反射鏡を用いた光学系の第二の実施形態を示す。

【0046】8枚の反射鏡を用いた光学系をできるだけ手間を省いて製造するために、そして、確実に干渉を用いて検査できるようにするために、この光学系においては、軸から最も離れた使用領域を有する反射鏡が球面状に形成されている。

【0047】入射角を小さく保つため、そして、光束を光軸の方向に向けるため、さらに、これによって軸から遠い使用領域に出現するのを制限するため、図5による実施形態では、二つの中間像Z1, Z2が設けられている。

【0048】図5に示される二つの中間像を有した実施形態の場合、反射鏡S1, S2, S3, S4, S5、ならびにS7及びS8は、非球面形状に形成されている。軸から最も遠い位置に使用領域を有している反射鏡S6は、これに対して球面形状に形成されている。この光学系は、像側の開口数NA=0.4を有している。図5における実施形態を見れば、反射鏡S2及びS3の間の一箇目の中間像によって、最初の4枚の反射鏡S1, S2, S3, S4が軸に近い使用領域を有するようになることは明らかであろう。このことは、大きな開口数を有する下流側の光学系の部分において二箇目の中間像Z2が設けられるだけでは、これほど確実なものにはなり得ない。第6の反射鏡S6は従って軸から離れた使用領域を有している。反射鏡S6が非球面として形成されると、軸上の検査光学系を用いて第6の反射鏡を検査す

ることは困難であろう。このため、本発明により、この反射鏡S6は球面状に形成されている。中心の視野絞りの主光線の入射角は、以下の表4に掲げられている。

【0049】

【表4】

図5の実施形態における中心視野絞りの主光線の入射角

反射鏡	入射角
S1	7.5°
S2	4.4°
S3	4.6°
S4	10.5°
S5	19.4°
S6	4.6°
S7	14.0°
S8	4.2°

【0050】個々の反射鏡の部分の使用領域は、図6a～図6hに示されている。ここで、図6aには、図5に示された8枚の反射鏡を用いた光学系の実施形態における反射鏡S1上の使用領域が、図6bには、反射鏡S2上の使用領域が、図6cには、反射鏡S3上の使用領域が、図6dには、反射鏡S4上の使用領域が、図6eには、反射鏡S5上の使用領域が、図6fには、反射鏡S6上の使用領域が、図6gには、反射鏡S7上の使用領域が、そして、図6hには、反射鏡S8上の使用領域が示されている。

【0051】図5に示される光学系の詳しいデータは、光学設計ソフトCode-Vの形式で表5及び表6に再現され

ている。

【表 5】

素子番号	半径	厚さ	直径	ART
ワジエ	INF	846.0618 開口絞り 0.0000	174.4481	
S1	A(1)	-596.9226	174.6201	REFL
S2	A(2)	1258.0118	302.7847	REFL
S3	A(3)	-560.6789	376.8895	REFL
S4	A(4)	502.0689	132.7627	REFL
S5	A(5)	-548.1913	251.5133	REFL
S6	869.9668 CC	1025.6939	825.4854	REFL
S7	A(6)	-318.8926	93.9960	REFL
S8	A(7)	349.2051	327.8538	REFL
イメージ	INF		56.5279	

【表 6】

非球面係数

$$Z = \frac{(CURV)Y^2}{1+(1-(1+K)(CURV)^2Y^2)^{1/2}} + (A)Y^4 + (B)Y^6 + (C)Y^8 + (D)Y^{10}$$

非球面	CURV	K	A	B	C	D
A(1)	-0.00077091	0.000000	1.74667E-09	3.88468E-14	2.31479E-19	-1.93103E-23
A(2)	0.00069673	0.000000	-3.24472E-10	2.27112E-15	7.69172E-21	7.04100E-26
A(3)	-0.00095818	0.000000	-8.63211E-11	-3.33704E-16	3.53842E-21	-2.98818E-26
A(4)	0.00013409	0.000000	5.05967E-09	1.60649E-13	-2.50451E-18	-6.77039E-22
A(5)	0.00174877	0.000000	-1.31667E-09	7.91407E-15	-1.05690E-19	2.09186E-24
A(6)	0.00451027	0.000000	7.10441E-08	3.63352E-12	-1.83737E-17	1.18169E-20
A(7)	0.00267159	0.000000	2.02896E-10	2.44899E-15	2.34247E-20	2.04113E-25

ワジェン波長 = 13.0 NM

イメージスケール = -0.25

像側の開口 = 0.40

【0052】本発明による上記のいずれの実施形態の場合においても、反射鏡への小さな入射角を実現するために、反射鏡の使用領域の隔たりは、小さく抑えられていることが好ましい。この隔たりは、適当なスケールで如何様にも変えることができるので、ここでは、この隔たりは、光学系の長さ寸法に対する大きさの比によって特徴付けられる。以下の表 7 には、使用領域の隔たりと長さ寸法の比の大きさが、二つの実施形態における全ての反射鏡について挙げられている。

【0053】

【表 7】

使用領域の隔たりの長さ寸法に対する比

反射鏡	図 3 の実施形態	図 5 の実施形態
1	0.078	0.000
2	0.000	0.040
3	0.062	0.054
4	0.133	0.002
5	0.221	0.046
6	0.129	0.179
7	0.025	0.010
8	0.028	0.016

【0054】図 7 には、本発明に係る 8 枚の反射鏡を用いた投影光学系 200 を備えたマイクロソングラフィのための投影露光装置が示されている。照明光学系 202 (照明装置) は、例えば、EP99106348.8 「Beleuchtungs system, insbesondere fuer die EUV-Lithographie」、あるいは、US-Serial No 09/305,017 「Illuminationsy

stem particularly for EUV-Lithography」といった、開示内容がこの明細書に包括的に取り込まれている先行技術文献に記載されているように形成されるものであってもよい。このような類の照明光学系は、EUV-光源204を備えている。EUV-光源の光は、集光反射鏡206によって集光される。そして、いわゆるフィールド・ハニカムである網目状素子を備えた一番目の反射鏡207と、いわゆるビュービル・ハニカムである網目状素子を備えた二番目の反射鏡208と、反射鏡210とによってレチクル212が照明される。レチクル212から反射された光は、本発明に係る投影光学系によって、感光性の層を有するホルダー214に結像される。

【0055】本発明により、 $\lambda=11\sim30\text{nm}$ を有した極短紫外線の波長領域において使用可能であるという点で優れ、構成上の技術的な観点、及び製造上の技術的な観点から見て、とりわけ好ましい、小型の投影光学系を実現する8枚の反射鏡を有した投影光学系がはじめて提供される。

【0056】さらに、本発明に係る投影光学系によれば、高い開口とともに、遮蔽の無い、すなわち食の起こらない光路とが得られる。これにより、遮蔽の無い射出瞳が実現される。

【図面の簡単な説明】

【図1】 反射鏡の使用領域の定義を説明する図である。

【図2】 光学系の物面、または像面におけるフィールドの形状を示す図である。

【図3】 本発明に係る投影光学系の第一の実施形態を示す図であって、中間像を有した8枚の反射鏡を用いた投影光学系を示す図である。

【図4a】 第一の実施形態における第1の反射鏡S1の使用領域を示す図である。

【図4b】 第一の実施形態における第2の反射鏡S2の使用領域を示す図である。

【図4c】 第一の実施形態における第3の反射鏡S3の使用領域を示す図である。

【図4d】 第一の実施形態における第4の反射鏡S4の使用領域を示す図である。

【図4e】 第一の実施形態における第5の反射鏡S5の使用領域を示す図である。

【図4f】 第一の実施形態における第6の反射鏡S6

の使用領域を示す図である。

【図4g】 第一の実施形態における第7の反射鏡S7の使用領域を示す図である。

【図4h】 第一の実施形態における第8の反射鏡S8の使用領域を示す図である。

【図5】 本発明に係る投影光学系の第二の実施形態を示す図であって、7枚の非球面状の反射鏡、及び1枚の球面状の反射鏡、ならびに二つの中間像を有した投影光学系を示す図である。

【図6a】 第二の実施形態における第1の反射鏡S1の使用領域を示す図である。

【図6b】 第二の実施形態における第2の反射鏡S2の使用領域を示す図である。

【図6c】 第二の実施形態における第3の反射鏡S3の使用領域を示す図である。

【図6d】 第二の実施形態における第4の反射鏡S4の使用領域を示す図である。

【図6e】 第二の実施形態における第5の反射鏡S5の使用領域を示す図である。

【図6f】 第二の実施形態における第6の反射鏡S6の使用領域を示す図である。

【図6g】 第二の実施形態における第7の反射鏡S7の使用領域を示す図である。

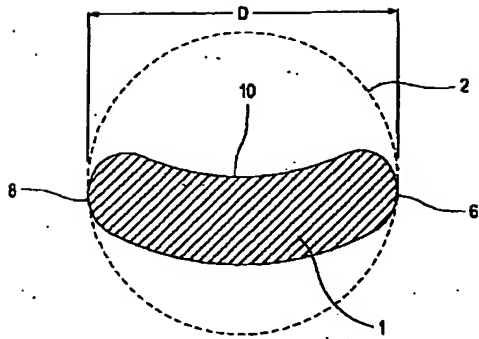
【図6h】 第二の実施形態における第8の反射鏡S8の使用領域を示す図である。

【図7】 本発明に係る光学系を有した投影露光装置の概略構成図である。

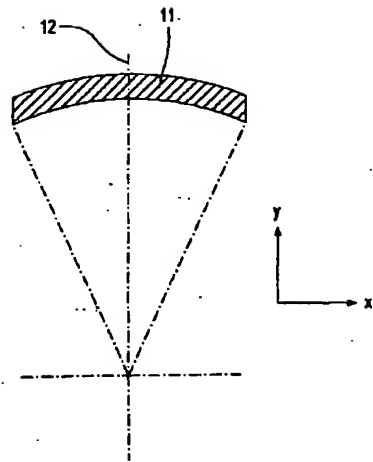
【符号の説明】

1・・・フィールド
11・・・オブジェクトフィールド
100・・・物面
102・・・像面
200・・・投影光学系
202・・・照明光学系（照明装置）
204・・・EUV-光源
214・・・ホルダー
B・・・絞り
CR・・・主光線
HA・・・光軸
S1～S8・・・第1～第8の反射鏡
Z1, Z2・・・中間像

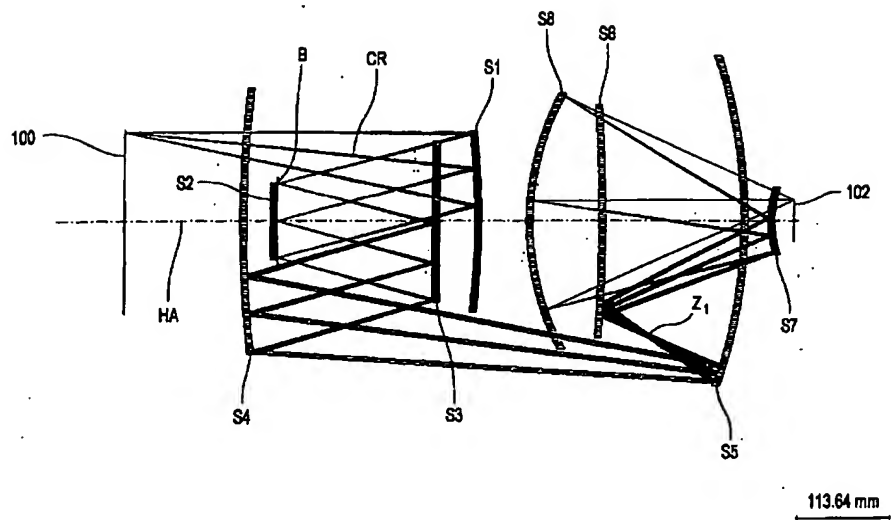
【図 1】



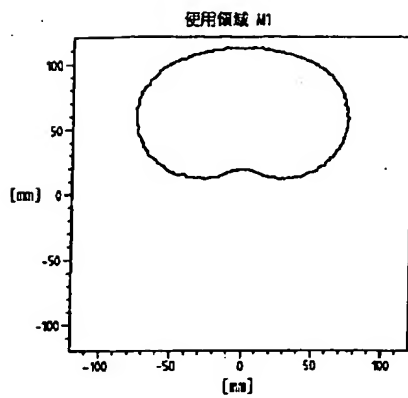
【図 2】



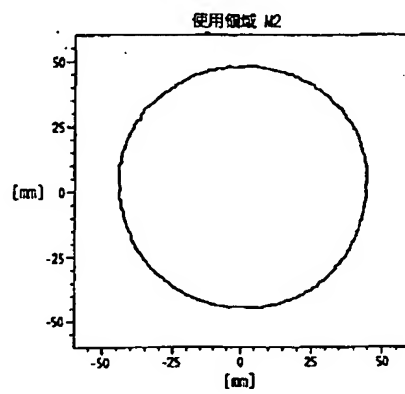
【図 3】



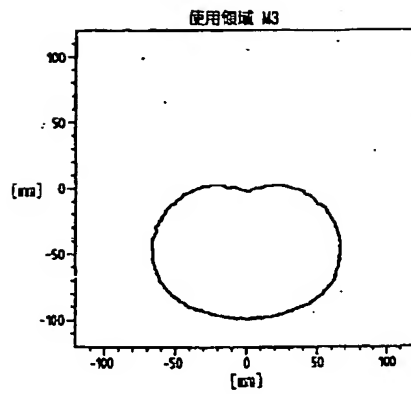
【図 4 a】



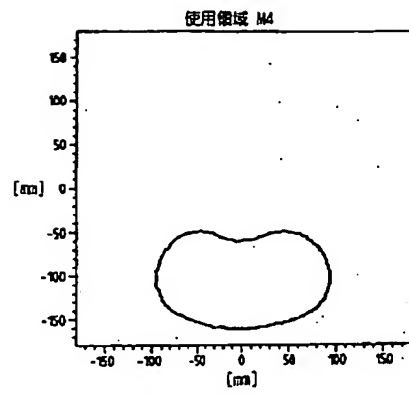
【図 4 b】



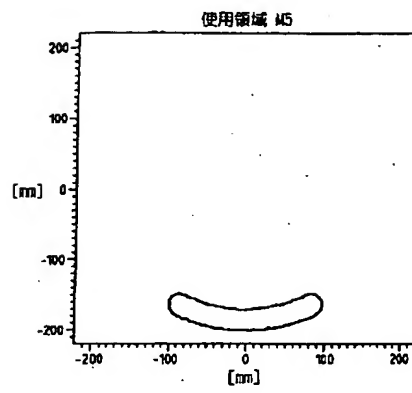
【図 4 c】



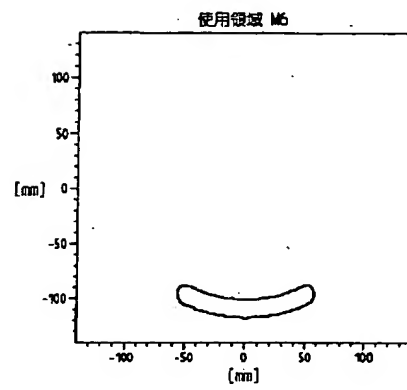
【図 4 d】



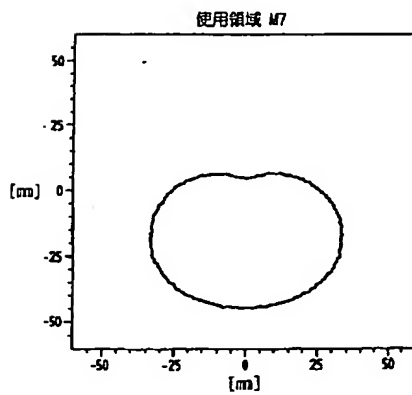
【図 4 e】



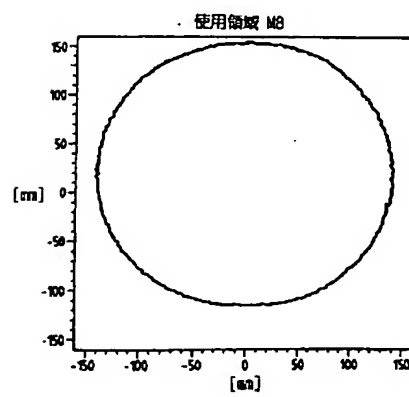
【図 4 f】



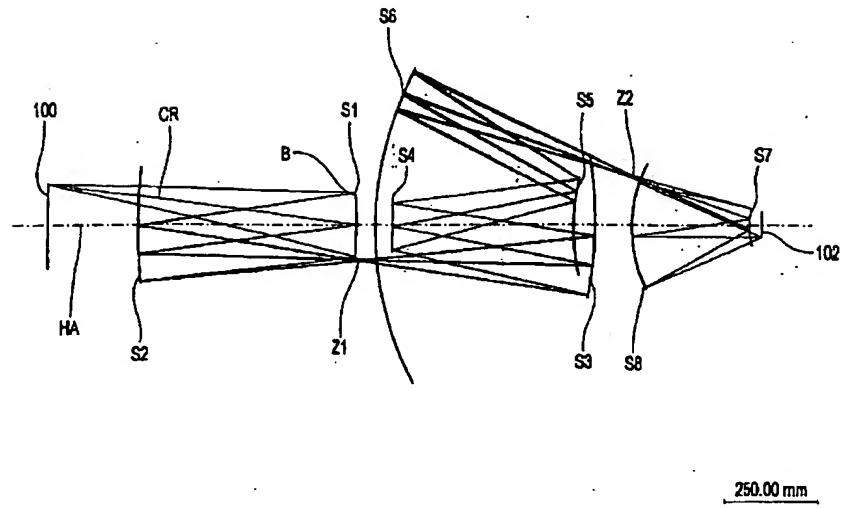
【図 4 g】



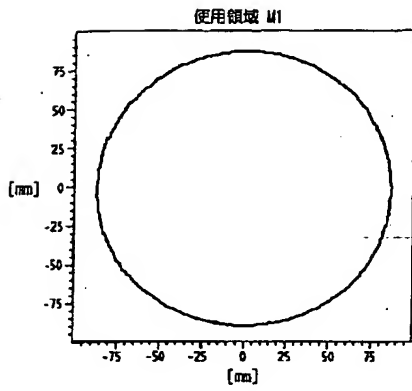
【図 4 h】



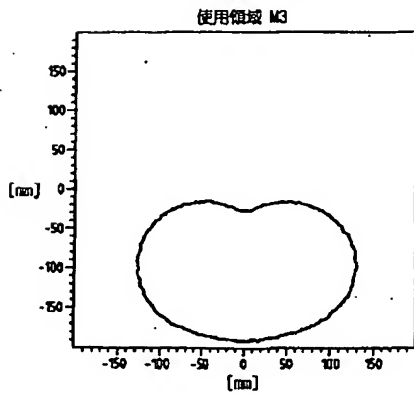
【図 5】



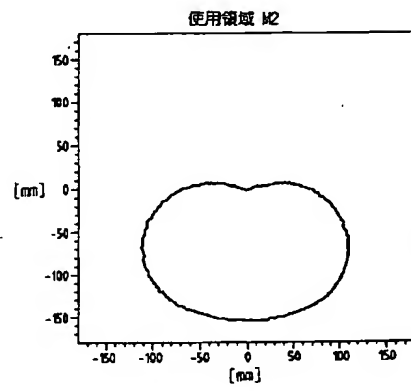
【図 6 a】



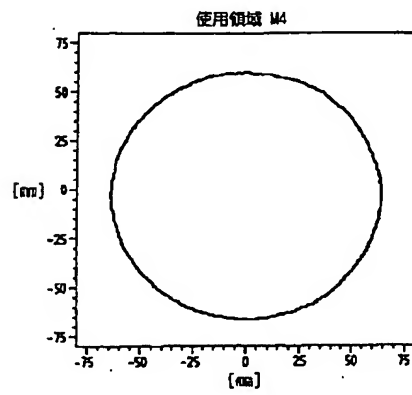
【図 6 c】



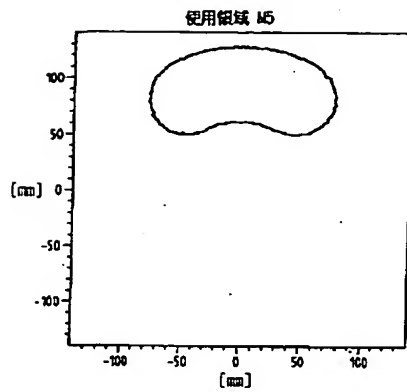
【図 6 b】



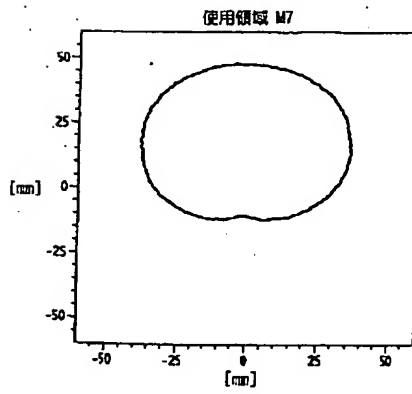
【図 6 d】



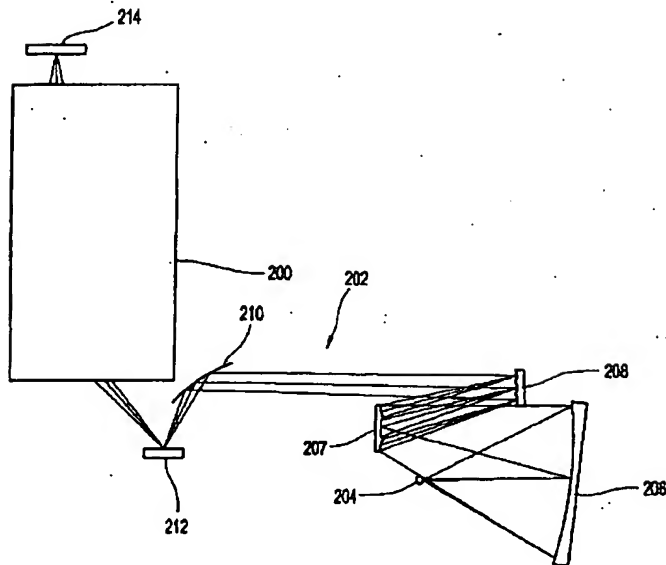
【図 6 e】



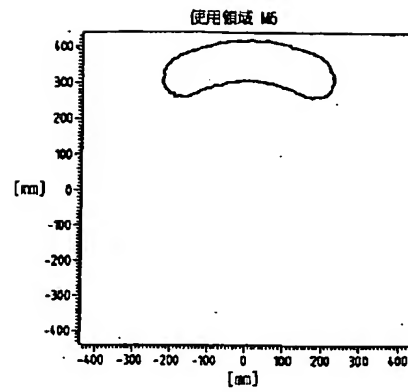
【図 6 g】



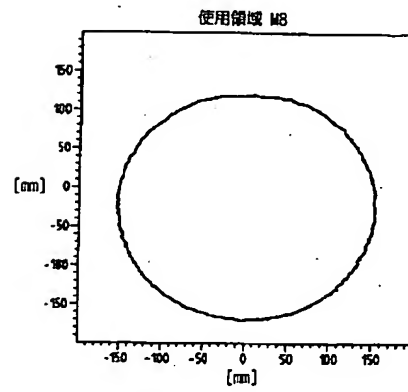
【図 7】



【図 6 f】



【図 6 h】



フロントページの続き

(72)発明者 ギュンター・ザイツ
ドイツ・71579・シュピーゲルベルク・イ
ム・グスレ・34

Fターム(参考) 2H087 KA21 NA02 NA04 NA05 RA32
TA02 TA06
2H097 AA05 CA06 CA13 LA10
5F046 GA03 GB01

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.